

УДК 621.763  
DOI: 10.12737/20253

М.Ю. Куликов, М.А. Ларионов, Д.В. Гусев

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРОТОТИПИРОВАННЫХ ОБРАЗЦОВ С УСЛОВИЯМИ ИХ БАЗИРОВАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ

Описана одна из перспективных технологий послойной печати изделий. Приведено краткое описание принципа работы установки и использованного материала для выращивания образцов. Получены 3D-картины поверхностей образцов, которые наглядно показывают, что условия базирования

влияют на шероховатость поверхности при прототипировании. Найдена оптимальная схема базирования образцов при печати.

**Ключевые слова:** прототипирование, детали машин, фотополимер, послойная печать, шероховатость, условия базирования.

M. Yu. Kulikov, M. A. Larionov, D. V. Gusev

## CORRELATION INVESTIGATION OF SURFACE ROUGHNESS IN PROTOTYPED SAMPLES WITH CONDITIONS OF THEIR LOCATION AT MANUFACTURING

The purpose of this work is to reveal the influence of the location of the product grown upon roughness during shaping at prototyping. To achieve the goal specified there were chosen plates with dimensions 10x10x3mm, and the surface investigated – a plane 10x10mm. Some sets of plates were printed on a 3D printer Envision Ultra 2 of high-temperature photo – polymeric resin NTM 140 according to Direct Light Projection (DLP). The plates made of NTM 140 after extraction from a printer have temperature durability of 140°C.

For more exact and deep researches of the phenomenon mentioned there was used a method of atomic – power microscopy (APM) for the definition of the surface micro-relief in samples under investigations.

As a basic tool for the analysis of surface micro-relief a scanning microprobe microscope Solver Pro, and program package WSxM allowed obtaining 3D images of a surface layer of samples.

It is evident from the results presented that at the formation of a flat by means of the quick prototyping method according to a DLP type technology the most optimum scheme of location is that at which the angle of basic plane slope makes 8°.

**Key words:** prototyping, machinery, photopolymer, layered printing, roughness, location conditions.

В последние годы все большее распространение находят технологии Rapid Prototyping (PR) для изготовления деталей различного назначения. Прототипирование – это быстрая реализация базовой функциональности объекта для анализа работы системы в целом. На этапе прототипирования малыми усилиями создается условно работающая система. После этапа прототипирования обычно следуют этапы доработки объекта, разработки, реализации и тестирования конечного продукта. Но в большинстве случаев применение технологий прототипирования приводит к получению изделий, которые используются в реальном производстве напрямую [1].

Эффект от применения быстрого прототипирования выражается в значительном сокращении времени и затрат на разработку новых изделий, а также в повышении качества разработки.

Одной из перспективных технологий выращивания изделий из полимерных материалов является технология Direct Light Projection (DLP). Эта технология – одна из самых быстрых, точных, она требует минимальных затрат материальных и трудовых ресурсов, что немаловажно в современных условиях рынка машиностроительной продукции.

В технологии DLP для построения модели используется фотополимер, отверждение которого происходит при помощи

УФ-излучения. Процесс разработан Texas Instruments и используется фирмой Envisiontec (Германия). На установках компании Envisiontec (рис. 1) полимеризация материала осуществляется не по точкам, а послойно, по растровым маскам. Благодаря этому скорость построения зависит не от размеров и сложности детали, а только от количества слоев. Скорость построения по Z составляет от 10 до 20 мм/ч (в зависимости от толщины слоя) [2].

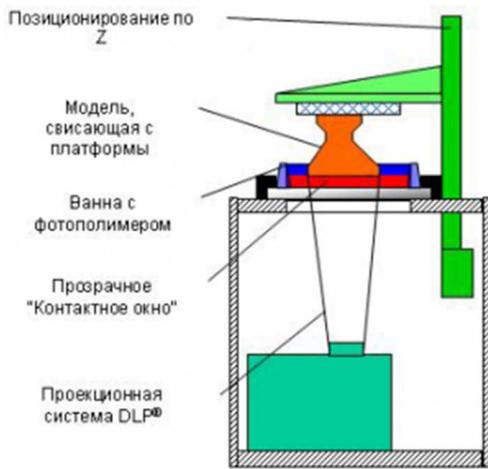


Рис. 1. Принципиальная схема рабочей части установки

Отличительной особенностью технологии DLP является то, что изделия, получаемые после выращивания и удаления поддерживающих элементов, пригодны для дальнейшего использования без всякой механической и иной доработки, так как отклонение точности деталей не превышает 0,0005 мм, а чистота поверхностного слоя соответствует Ra порядка 0,63. Такие точностные характеристики обеспечивает

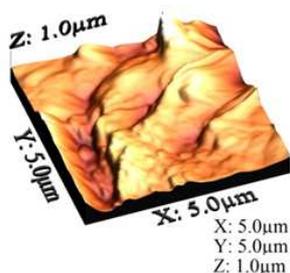
не каждая технология быстрого прототипирования. Чаще всего после процесса выращивания требуется дополнительная механическая обработка деталей, что увеличивает время изготовления и стоимость конечного продукта.

В ходе отработки технологии авторами было замечено, что на точность и качество выращиваемого изделия очень сильно влияет положение его ответственных поверхностей относительно контактного окна. При различных схемах базирования изделия шероховатость поверхностного слоя изменялась, но не превышала Ra 0,63.

Цель работы - выявить влияние базирования выращиваемого изделия на шероховатость во время процесса формования при прототипировании.

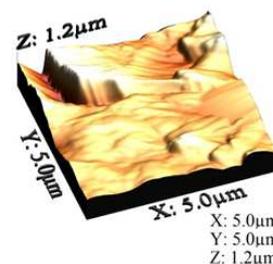
В качестве образцов были выбраны пластины размером 10x10x3 мм, а исследуемая поверхность – плоскость 10x10 мм. Несколько серий пластин из высокотемпературного фотополимера НТМ 140 были напечатаны по технологии DLP на 3D-принтере Envisiontec Ultra 2. Пластины, изготовленные из НТМ 140, после извлечения из принтера имеют температурную стойкость 140 °С. Материал НТМ 140 - один из самых востребованных среди представленных компанией Envisiontec в машиностроении. Серия состоит из 5 пластин, различающихся между собой углом наклона между исследуемой базовой поверхностью и контактными окном, который варьировался от 0 до 10° с шагом в 2°.

Результаты исследований каждой серии образцов представлены на рис. 2 – 7.



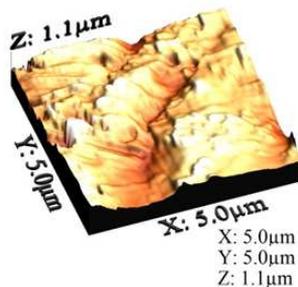
Max	1028,72 nm
Min	0 nm
Амплитуда высот, Sy	1028,72 nm
Средняя шероховатость, Sa	106,17 nm

Рис. 2. Трехмерная картина состояния поверхностного слоя образцов 1-й серии с углом наклона базовой поверхности 0°



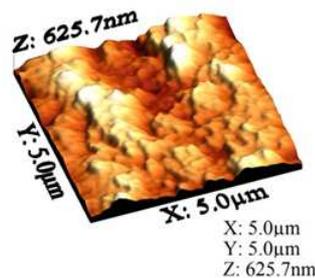
Max	1213,04 nm
Min	0 nm
Амплитуда высот, Sy	1213,04 nm
Средняя шероховатость, Sa	105,232 nm

Рис. 3. Трехмерная картина состояния поверхностного слоя образцов 2-й серии с углом наклона базовой поверхности 2°



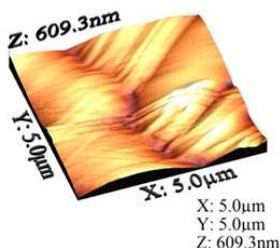
Max	1085,72 nm
Min	0 nm
Амплитуда высот, Sy	1085,72 nm
Средняя шероховатость, Sa	103,799 nm

Рис. 4. Трехмерная картина состояния поверхностного слоя образцов 3-й серии с углом наклона базовой поверхности  $4^\circ$



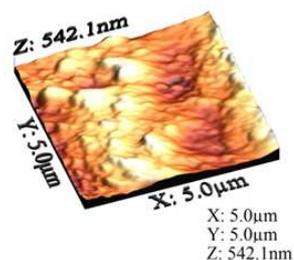
Max	625,754 nm
Min	0 nm
Амплитуда высот, Sy	625,754 nm
Средняя шероховатость, Sa	84,082 nm

Рис. 5. Трехмерная картина состояния поверхностного слоя образцов 4-й серии с углом наклона базовой поверхности  $6^\circ$



Max	609,3 nm
Min	0 nm
Амплитуда высот, Sy	542,092 nm
Средняя шероховатость, Sa	62,347 nm

Рис. 6. Трехмерная картина состояния поверхностного слоя образцов 5-й серии с углом наклона базовой поверхности  $8^\circ$



Max	542,1 nm
Min	0 nm
Амплитуда высот, Sy	609,352 nm
Средняя шероховатость, Sa	83,1501 nm

Рис. 7. Трехмерная картина состояния поверхностного слоя образцов 6-й серии с углом наклона базовой поверхности  $10^\circ$

Из представленных результатов видно, что при формировании плоской поверхности методом быстрого прототипирования по технологии DLP самой оптимальной схемой базирования является та, при которой угол наклона базовой плоскости составляет  $8^\circ$ . Это объясняется тем, что площадь выращиваемого слоя меньше, чем при угле наклона  $0^\circ$ , и в процессе отлипа-

ния от контактного окна минимально воздействие следующего слоя на предыдущий, который еще до конца не заполимеризовался. При угле наклона базовой поверхности более  $8^\circ$  отрицательное воздействие оказывает сила тяжести, что приводит к сдвигу недополимеризованного слоя и повышению шероховатости.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грабченко, А. И. Интегрированные генеративные технологии: учеб. пособие / А. И. Грабченко, Ю. Н. Внуков, В.Л. Доброскок; ред. А.И. Грабченко. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. – 416 с.
2. <http://www.cybercom.ru>.

1. Grabchenko, A. I. Integrated generative Techniques: Manual / A. I. Grabchenko, Yu. N. Vnukov, V.L. Dobroskok; Ed. A.I. Grabchenko. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2011. – pp. 416.
2. <http://www.cybercom.ru>.

Статья поступила в редколлегию 9.11.2015.  
Рецензент: д.т.н., профессор Верещака А.С.

**Сведения об авторах:**

**Куликов Михаил Юрьевич**, д. т. н., профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Московского государственного университета путей сообщения, e-mail: [muk.56@mail.ru](mailto:muk.56@mail.ru).

**Ларионов Максим Александрович**, к.т.н., начальник группы, ст. научный сотрудник ФГУП

**Kulikov Michael Yurievich**, D.Eng., Prof. of the Dep. "Technology of Transport Engineering and Repair of Rolling Stock" Moscow State University of Communications, e-mail: [muk.56@mail.ru](mailto:muk.56@mail.ru).

**Larionov Maxim Alexandrovich**, Can.Eng., Head of the group, Senior Researcher of FSUC CRImach, Korozyov, e-mail: [pioneer\\_maxim@mail.ru](mailto:pioneer_maxim@mail.ru).

ЦНИИмаш, г.Королев, e-mail: [pioneer\\_maxim@mail.ru](mailto:pioneer_maxim@mail.ru).

**Гусев Денис Витальевич**, аспирант кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Московского государственного университета путей сообщения, e-mail: [dess.2010@mail.ru](mailto:dess.2010@mail.ru).

**Gusev Denis Vitalievich**, Post graduate student of the Dep. "Technology of Transport Engineering and Repair of Rolling Stock" Moscow State University of Communications, e-mail: [dess.2010@mail.ru](mailto:dess.2010@mail.ru).